Dr. Herbert Börner

Vom RC-Verstärker zur Mehrfachröhre
Aus der Geschichte des Widerstandsverstärkers

In seinem Buch „Der Bau von Widerstandverstärkern" sagte Manfred von Ardenne: „Aperiodische Niederfrequenz- und Hochfrequenzverstärker, bei denen die Röhren der verschiedenen Verstärkerstufen nicht durch Transformatoren oder Schwingungskreise, sondern durch Ohmsche Widerstände miteinander gekoppelt werden, sind schon lange bekannt" [1, 2. Auflage. S. 11]. Tatsächlich stammten die ersten Vorschläge hierzu aus dem Jahre 1914. Richtig brauchbar wurde der transformatorlose Röhrenverstärker aber erst durch die Erfindung der Widerstand-Kapazitäts-Kopplung von Harald de Forest-Arnold (Am. Pat. Nr. 1 129 942), Mai 1914). Charakteristisch für diese Schaltungsart ist der im Anodenkreis der vorangehenden Röhre liegende Anodenwiderstand Ra, der Koppelkondensator zum Gitter der nachfolgenden Röhre CK und der Gitterableitwiderstand Rg. Weitere Patente hierzu (vergleiche [2]) brachten nur unwesentliche Verbesserungen.

H.G. Möller und H. Barkhausen gingen jedoch in ihren grundlegenden Büchern über Elektronenröhren auf das Problem des RC-Verstärkers kaum ein [3], [4]. Sie versuchten mit ihren Berechnungen stets, eine maximale Leistungsverstärkung zu erzielen, während es bei dem RC-Verstärker auf eine maximale Spannungsverstärkung ankommt. Loewe bemerkte hierzu: „Liest man in irgendeinem drahtlosen Lehrbuch den diesbezüglichen Abschnitt nach, so findet man gewöhnlich eine vorzügliche theoretische Behandlung dieser Frage, dann aber den Hinweis, daß man bei Widerstandsverstärkern den äußeren Widerstand etwa gleich 100000 Ohm machen soll" [1, S. 6, Geleitwort].
Barkhausen definierte die „Röhrengüte" zu G = S: D (S = Steilheit, D = Durchgriff). „Es ist daher wichtig, sich zu merken, daß die Güte der Röhre umso größer ist, je steiler die Charakteristik (Ia-Ug-Kennlinie, H.B.) verläuft und je kleiner der Durchgriff der Röhre ist. .. Man erhält also bei kleinem Durch-

griff D eine sehr erheblich verstärkte Wechselspannung an der Anode; nur ist gerade dann die Voraussetzung, daß Ra (Lastwiderstand, H.B.) groß gegen Ri (Röhreninnenwiderstand), H.B.) sein muß, praktisch nicht leicht zu erfüllen, da Ri auch wie 1:D anwächst, bei kleinem D also sehr groß wird" [4, S. 61-62].

Bild 1: RC-gekoppelter Dreiröhren-Hochfrequenzverstärker (etwa Herbst 1925)

Die Idee des jungen M. v. Ardenne

Zur Untersuchung des RC-Verstärkers wurde M. v. Ardenne angeregt durch die „zunächst rätselhafte Beobachtung, daß bei einem meiner Empfänger besonders hohe Lautstärken sich dann ergaben, wenn die Kathoden der Verstärkerröhren sehr schwach geheizt wurden. .. Die Untersuchung führte zu einer 1925 gemeinsam mit H. Heinert abgefaßten wissenschaftlichen Arbeit [5]. Die gewonnenen Erkenntnisse fanden ihren weiteren Niederschlag in einer Patentanmeldung, die nach einigen Jahren in der letzten Instanz, unter dem Einfluß der Gegnerschaft fast der ganzen europäischen Rundfunkindustrie, zu Fall gebracht wurde (Begründung: eigene Vorveröffentlichung!). Im Fall der Patenterteilung wäre ein großer Teil der europäischen Empfängerproduktion in den Jahren 1926-1928 rückwirkend lizenzpflichtig geworden!" [6, S. 53-54].

M. v. Ardenne untersuchte an konkreten Schaltungen mit handelsüblichen Röhren die RC-Verstärkung. Da diese Röhren für Leistungsverstärkung ausgelegt waren, hatten sie allgemein einen Durchgriff zwischen 10% und 20%. Ardenne erzielte damit Verstärkungsfaktoren von V = 6...8. Er wies nach, daß man bei Verringerung des Durchgriffes auf 3..4% und Außenwiderständen im Megohm-Bereich die Spannungsverstärkung verdoppeln oder gar verdreifachen könnte. Man käme dabei in die Größenordnung von Transformatorenverstärkern, jedoch ohne deren Nachteile in Kauf nehmen zu müssen [1,1. Aufl. S. 36-37]. Wie M. v. Ardenne berichtet, bemühte er sich monatelang vergeblich bei verschiedenen kleineren Fabrikanten darum, sie zur Herstellung eines Empfängers mit RC-Kopplung zu bewegen. „Als ich dann zu Dr. Loewe kam, erkannte der im Laufe der ersten halben Stunde die Tragweite der ihm vorgelegten Meßergebnisse, und bereits wenige Tage später war der Vertrag geschlossen" [6, S. 56].

Der „Loewe-Ortsempfänger"

Als erstes Ergebnis wurde noch 1925 von Loewe zum einen eine spezielle Widerstandsverstärkerröhre mit 4% Durchgriff, die LA 77 konstruiert, zum anderen wurde ein HF-Vorsatzgerät

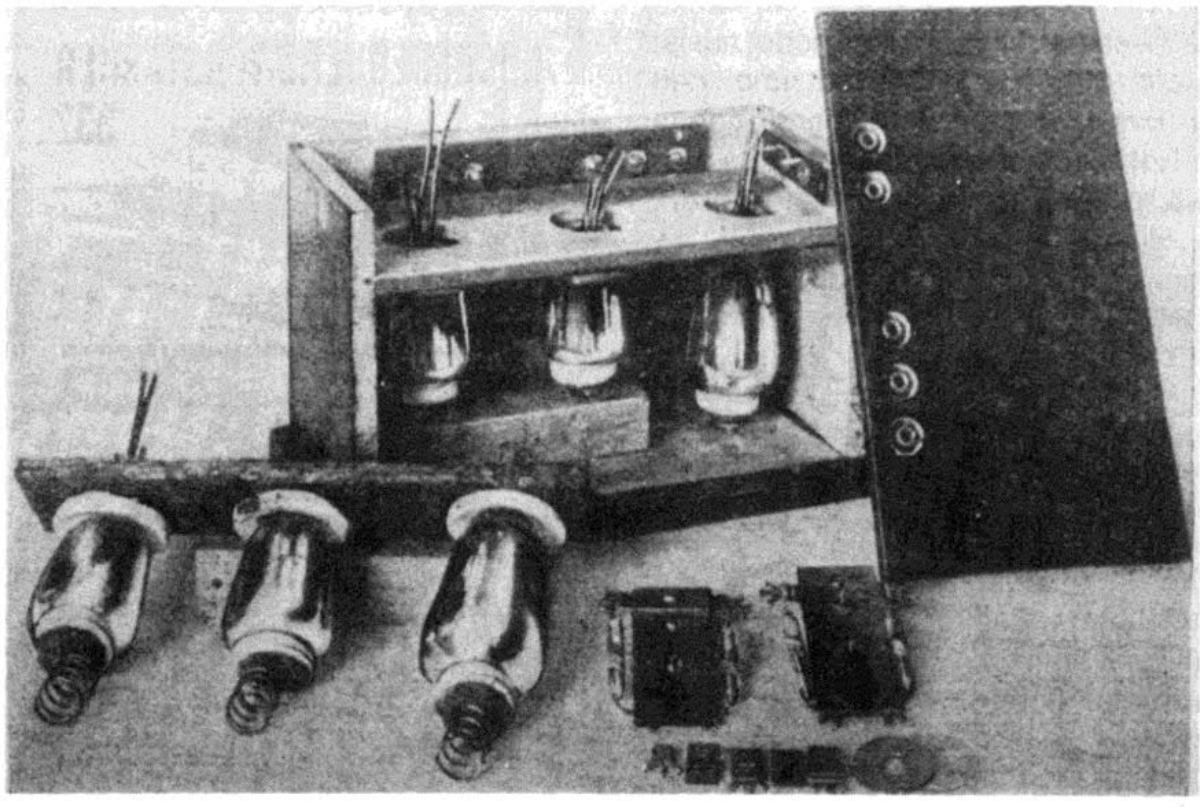


Bild 2: Einzelteile des Verstärkers N.F. 333

Typ „H.F. 332" (Preis 82,75 RM mit Röhren) auf den Markt gebracht, *(Bild 1)*. Diesem Gerät war wohl kein großer Erfolg beschieden, denn es wurde Anfang 1926 durch den „Loewe Ortsempfänger N.F. 333" abgelöst *(Bilder 2 und 3)* (Preis zuerst 72,75 RM, später 49,50 RM mit Röhren). Der N.F. 333 wurde den Radioamateuren auch als Baukasten angeboten [7].

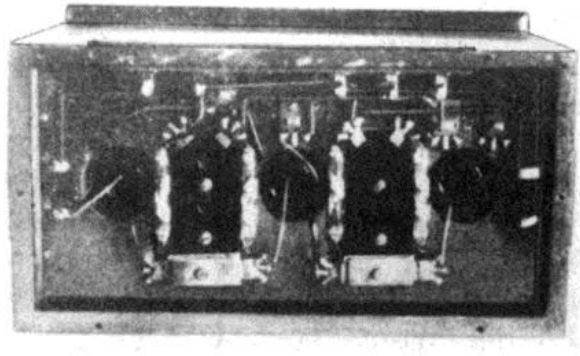


Bild 3: Blick auf die verdrahtete Montageplatte

Bei beiden Geräten war bemerkenswert, daß neben der RC-Kopplung auf kapazitätsarmen Aufbau Wert gelegt wurde. Er wurde erreicht durch eine sockellose, direkte Einlötung der Röhren in die Schaltung. Sie hingen mit dem Kolben nach unten in einem kleinen Holzkasten. Unter der Deckelplatte waren die Bauelemente und die Verdrahtung angeordnet. Es gab nur Buchsen für Ein- und Ausgang sowie die Betriebsspannungen *(Bilder 4 und 5)*. Anstelle einer Audionkombination wurde der 1. Röhre eine negative Gitterspannung (-G1, sogen. Richtaudion) zugeführt, so daß ein Spulenkoppler mit Drehko oder in Sendernähe gar eine Rahmenantenne genügte, um Lautsprecherempfang zu erzielen.

DER NEUE ORTSEMPFÄNGER

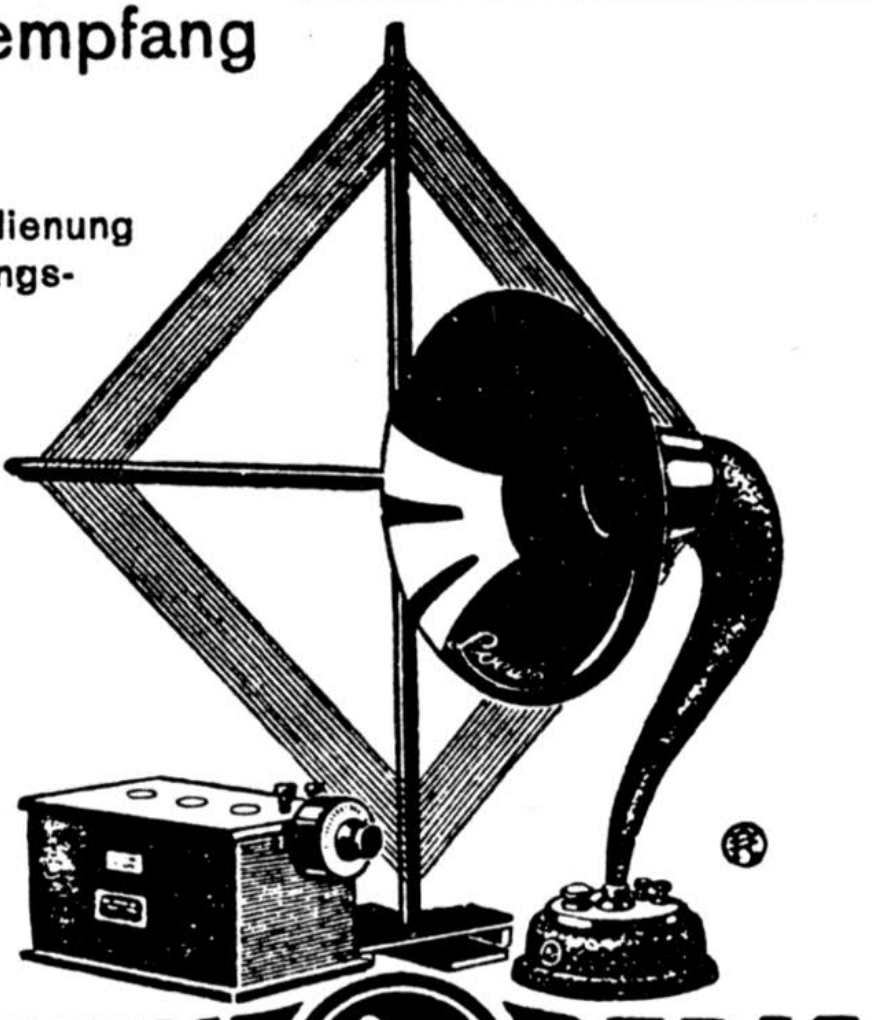
nach v. Ardenne und Heinert

N. F. 333

garantiert

idealen Ortsempfang

Ohne Außenantenne
Ohne Rückkopplung
Ohne schwierige Bedienung
erzielen Sie verzerrungs-freieste Wiedergabe
im
LOEWE-LAUTSPRECHER



Rückhaltlos zustimmende Urteile liegen bereits vor!

Preis:
65,– Mk.
einschließlich
3 Röhren

Lizenz:
7,75 Mk.

Klemmleiste
extra **7,50** Mk.

LOEWE RADIO

RADIOFREQUENZ G. M. B. H.

BERLIN-FRIEDENAU, NIEDSTRASSE 5

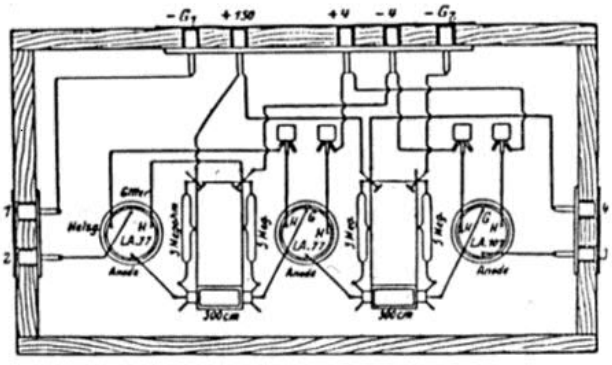


Bild 4: Drahtführung des N.F. 333

Der Schritt zur Mehrfachröhre

„Dr. Loewe hatte, um ungestört arbeiten zu können, die Angewohnheit, seine Tätigkeit bis tief in die Nacht auszudehnen. So wurde der Beschluß zur Entwicklung und Fertigung der ersten Mehrsystemröhre der Hochfrequenztechnik im Verlauf eines langen, nach Mitternacht geführten Telefongesprächs gefaßt. Bei diesem Beschluß ahnten wir noch nicht, welche Fülle technischer Detail- und Kontrollarbeit noch zu leisten war, um trotz der bei Mehrfachröhren stark vermehrten Fehlerwahrscheinlichkeit in der Massenfertigung die Ausschußquote klein zu halten" [6, S.54]. M. v. Ardenne entfachte eine regelrechte Werbekampagne für den Gedanken des RC-Verstärkers. In seiner Autobiographie spricht er von mehr als 50 Veröffentlichungen zu diesem Thema. Aus einem dieser Aufsätze sei beispielsweise zitiert: „Um auch auf Wellen unter 1000 m eine wirksame Verstärkung zu erhalten, bestehen zwei Wege, die einzeln oder gleichzeitig beschritten werden können. Der eine Weg besteht darin, daß nach Dr. Loewe die schädlichen Eigenkapazitäten durch Einbau mehrerer Röhren, Widerstände, Kondensatoren und Verbindungsleitungen in eine evakuierte Glashülle sehr vermindert werden. Der andere Weg besteht in der Benutzung der in diesem Aufsatz angegebenen günstigen Dimensionierung der Röhren und Widerstände für die Hochfrequenzverstärkung. Auf beiden Wegen gelingt es, die Verstärkungsgrenze auf Wellen unter etwa 200 m herabzusetzen. Durch die gleichzeitige Ausnutzung der auf beiden Wegen erreichten Verbesserungen gelangt man zu aperiodischen Verstärkern, deren Verstärkungsgrenze unter 100 m liegt" [8].

Loewe bekräftigte den geschilderten Anteil der beiden Erfinder an der Schaffung der Mehrfachröhre in einem Aufsatz vom Dezember 1925: „... eine ältere Ausführung derartiger Röhren, wie sie bereits vor längerer Zeit vom erstgenannten Verfasser (S.Loewe, H.B.) hergestellt worden sind. Die mit solchen Röhren angestellten Versuche ergaben so ermutigende Resultate, daß durch den zweitgenannten Verfasser (M. v. Ardenne, H.B.) der Versuch zu einer besseren Ausgestaltung der Verstärkerstufen selbst unternommen wurde." In einer Fußnote ergänzte Loewe: „Die Technik der Herstellung solcher Röhren wurde von Herrn Dr. Ing. Roemhild im Laboratorium der Loewe-Audion G.m.b.H. ausgebildet ... Die Lieferung solcher Röhren wird in nächster Zeit durch die Loewe-Audion G.m.b.H. erfolgen." [9]

Die beiden bekannten und später sehr erfolgreichen Röhren 2 HF und 3 NF wurden zusammen mit dem neuen Loewe-Ortsempfänger Typ OE 333 (Preis 39,50 RM mit Röhre) und dem Loewe-Fernempfänger Typ 2H3N (Preis 145,50 mit Röhren) auf der 3. Großen

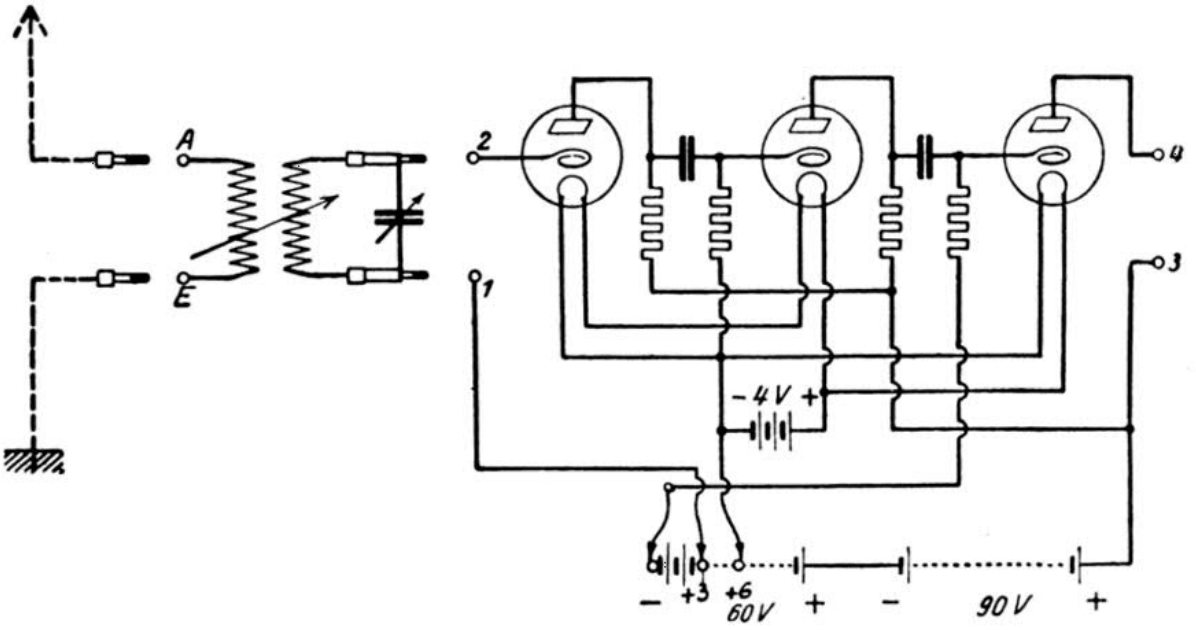


Bild 5: Schaltung des N.F. 333. Die Ergänzung zum Ortsempfänger ist angedeutet.

Deutschen Funkausstellung Anfang September 1926 vorgestellt. „Die neuen Empfänger retteten das Loewesche Unternehmen, welches sich 1925 sehr großen wirtschaftlichen Schwierigkeiten gegenübersah" [6, S. 55]. „Die Nachfrage wird zeitweise so groß, daß Tagesstückzahlen von 2000 Einheiten und mehr keine Seltenheit sind. Als man mit der Produktion kaum noch nachkommen kann, regt Dr. Loewe Amateure zum Selbstbau von Empfängern an und verkauft so auch eine stattliche Anzahl von Dreifachröhren ohne Empfänger" [10, S. 12] wird in der „Loewe-Story" berichtet. Allerdings ist der darauffolgende Satz: „Der OE 333 sollte bereits 1926 zum ersten Rundfunk-Millionär in der Geschichte der Unterhaltungselektronik werden" eine reine journalistische Übertreibung, auf die auch M. v. Ardenne hereinfiel [6, S. 54] und das Foto „1926 waren bereits 1 Million Stück des Ortsempfängers OE 333 verkauft" [10, S. 13] eine schlichte Fälschung (vergl. [11]).

Diese Übertreibung wäre gar nicht nötig gewesen, denn die inzwischen vergangenen mehr als 60 Jahre haben gezeigt, daß neben dem wirtschaftlichen Erfolg, den die Firma Loewe erzielte (und nicht zuletzt auch der Vertragspartner M. v. Ardenne), die Idee und die Ausführung

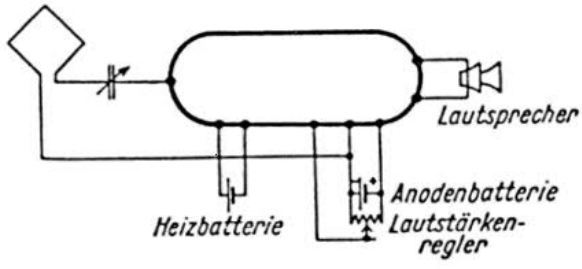


Bild 6: Prinzipbild eines „Schaltkreis-Empfängers"

der Röhre sie zu einem kleinen Wunderwerk stempelt, vor dem wir in bloßer Ahnung der technologischen Schwierigkeiten, die bis zu ihrer Massenfertigung zu überwinden waren, voller Hochachtung stehen.

Wo blieb die „Integrierte Röhre?“

Auf diese Frage konnte mir bisher keiner eine plausible Antwort geben. Uns ist heute das Prinzip der „Schaltungsintegration“ geläufig. Komplette elektronische Schaltungen sowohl digitaler als auch analoger Art von zum Teil astronomischen Integrationsgraden werden entwickelt (man arbeitet an Chips, auf denen Millionen digitaler Funktionseinheiten untergebracht sind!) bzw. sind schon tagtäglich in allen möglichen Produkten eingesetzt. Charakteristisch ist für sie die Zusammenfassung elektronischer Funktionselemente (Halbleiterverstärker und passive Elemente) zu standardisierten Baugruppen, den Schaltkreisen. Dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechend werden sie durch eine äußere Beschaltung mit weiteren Schaltkreisen oder anderen passiven bzw. aktiven Bauelementen ergänzt. Rückblickend fragt man sich: gab es denn derartiges auch in der Röhrentechnik?

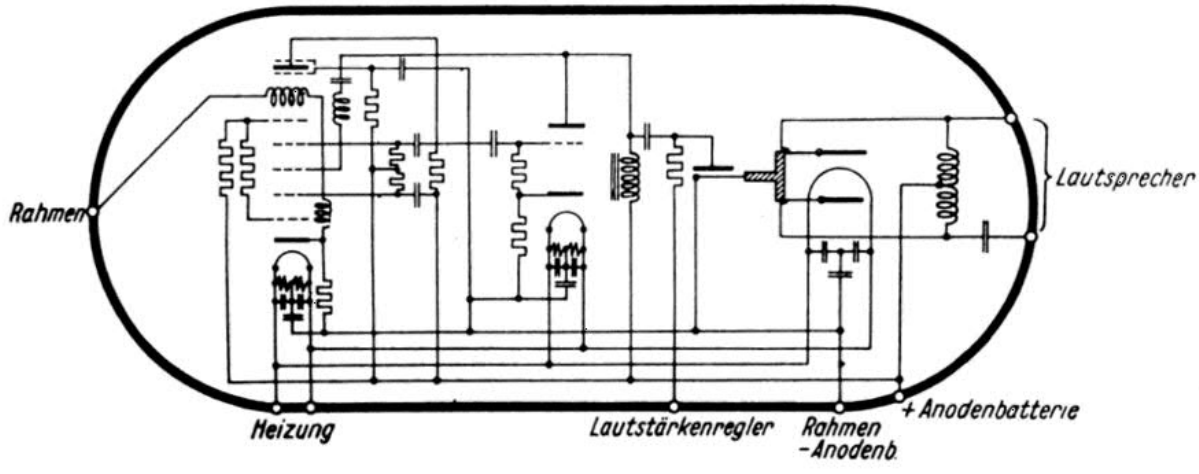
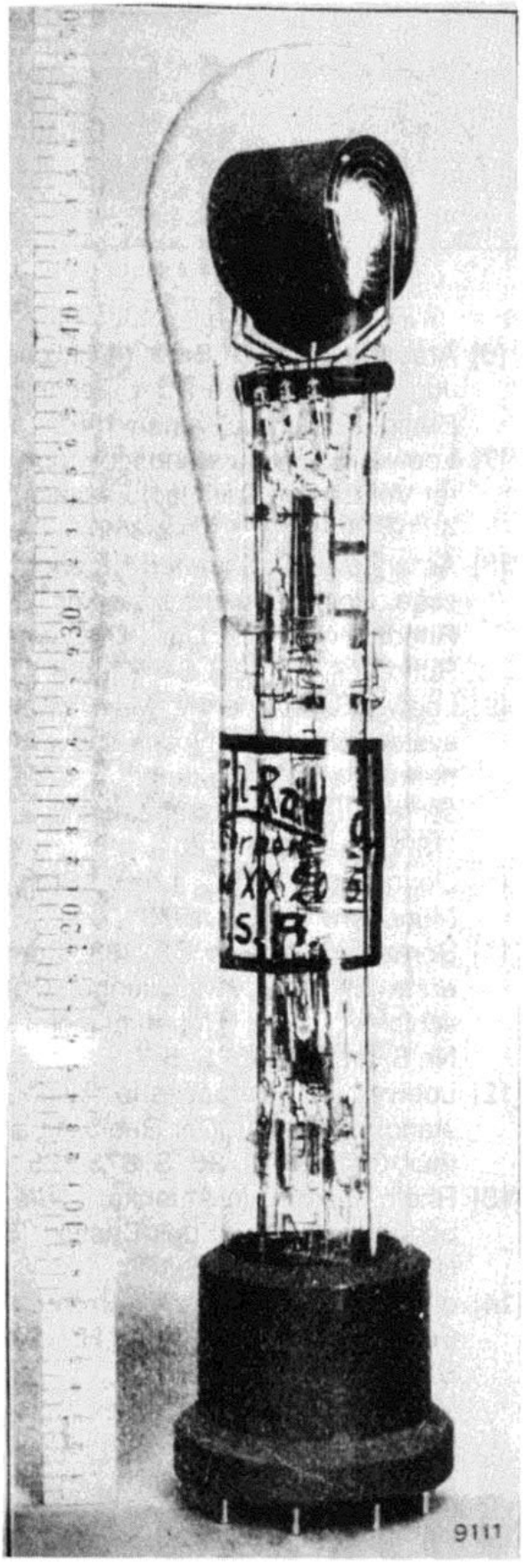


Bild 7: So könnte das Innere einer „Integrierten Röhre“ aussehen.

Vorschnell wird dann geantwortet: natürlich, die Loewe- Mehrfachröhren! Verdeutlichen wir uns aber ihren Werdegang, so steckt hinter der vermeintlichen „Integration“ lediglich ein gedrängter Zusammenbau zum Zwecke der Minimierung schädlicher Kapazitäten. S. Loewe war nahe am Gedanken der Integration, als er in einem Beitrag über Mehrfachröhren ganz allgemein formulierte: „Das Ideal eines Verstärkers besteht in einer Einheit, die jede Art elektrischer Stromschwankungen formtreu, aber verstärkt, wiedergibt. .. Man kann es überhaupt als einen Nachteil bezeichnen, daß wir bisher nicht über einen Verstärkungsapparat verfügen, der, an ein beliebiges Schaltungssystem angeschaltet, auf seiner Ausgangsseite in möglichst verstärkter, im übrigen aber unveränderter Form das wiedergibt, was sich auf seiner Eingangsseite abspielt“ [12, S. 873].

Der eigentliche Gedanke der Integration wurde erstmals im „Funk- Bastler“ 1929 ausführlich beschrieben [13]. Die Prinzipschaltung *(Bild 6)* zeigt das



Wesentliche: der Schaltkreis beherbergt alle aktiven und passiven Bauelemente des Empfängers. Nur die veränderlichen Elemente, der Drehko zur Senderwahl und das Potentiometer für die Lautstärkeregelung sind außerhalb angeordnet. Anschlüsse am Schaltkreis sind lediglich für diese Elemente sowie für die Betriebsspannungszuführung und den Lautsprecher vorhanden. Das Innenleben des Schaltkreises *(Bild 7)*, sieht zwar recht abenteuerlich aus, läßt aber die charakteristische Verbindung zwischen den verschiedenen Arten aktiver und passiver Elemente (Röhrensysteme, Widerstände, Kondensatoren, Spulen) erkennen. Das Ganze findet Platz in einem Glaskolben, *(Bild 8)*. Mit 50 cm – einschließlich Sockel – zugegebenermaßen recht groß, aber immerhin handelte es sich ja um einen Prototypen.

In der folgenden Ausgabe des Funk-Bastler wurde das Geheimnis um die „Sevengrid-Valve" gelüftet: es handelte sich lediglich um einen Aprilscherz des bekannten Publizisten Eduard Rhein! [14]. Für diesen Scherz fand er bei Mitarbeitern der Firma Loewe Verständnis, und der uns inzwischen bekannte Bruno Wienecke baute ihm das Phantasiemonstrum *(Bild 9)*.

Sucht man also nach einer Erklärung, warum es die „Integrierte Röhre" nicht gab, so kann man vielleicht folgendes konstatieren: Bei den Technikern gab es den Gedanken der „Schaltungsintegration" im heutigen Sinne noch nicht. Vorstellungen hierzu wurden in das Reich der Phantasie verwiesen. Wenn

Bild 8: Prototyp der vorgestellten „Integrierten Röhre"

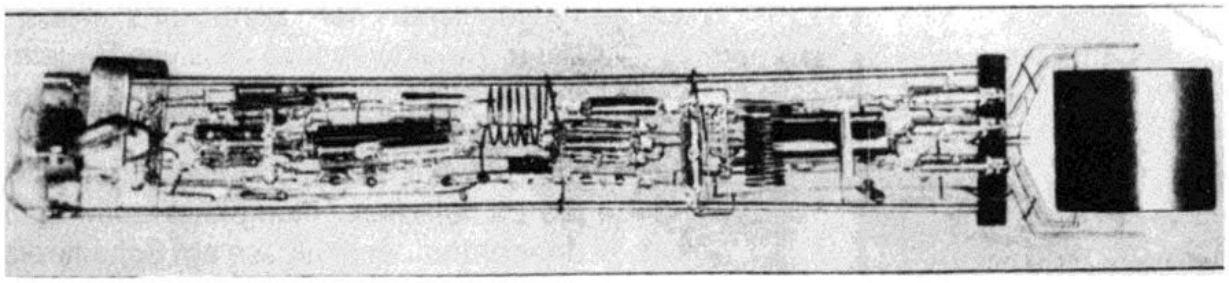


Bild 9: Phantasievoller „Inhalt der Röhre"

jedoch der Transistor 1948 nicht gekommen wäre, hätte man sich in der Röhrenentwicklung, die um diese Zeit zu einem vorläufigen Abschluß gekommen war, neue Wege überlegen müssen. So hätten wir vielleicht heute „Integrierte Röhren" gehabt – aber im Hinblick auf die grandiose Entwicklung der Mikroelektronik, denke ich, können wir getrost diese Lücke verschmerzen.

Literaturverzeichnis

[1] Ardenne, M. v.: Der Bau von Widerstandverstärkern. Berlin: R.C. Schmidt, 1. Aufl. 1926, 2. Aufl. 1927

[2] Teucke, K.: Aus den Anfängen des Röhrenverstärkers. Funk-Bastler 8 (1931) H. 25, S. 385-390)

[3] Möller, H.G.: Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen. Braunschweig: Vieweg 1920

[4] Barkhausen, H.: Elektronen-Röhren. Leipzig: Hirzel 1923

[5] Ardenne, M. V. und Heiner, H.: Über Widerstandsverstärker. Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie 26 (1925) H. 2. S. 52-54

[6] Ardenne, M. v.: Eine glückliche Jugend im Zeichen der Technik. Berlin: Kinderbuchverlag 1962

[7] Loewe, S.: Widerstandsgekoppelter Verstärker. Der Radio-Amateur 4 (1926) H. 12, S. 248-352

[8] Ardenne M. v.: Über neue aperiodische Hochfrequenzverstärker für Rundfunkwellen. Der Deutsche Rundfunk 4 (1926) S. 597-598

[9] Loewe, S. u. Ardenne, M. v.: Zweisystemröhren für Hoch- und Niederfrequenzverstärkung. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik 27 (1926) H. 1, S. 19-20

[10] Dennewitz, R.-D.: Loewe-Story. München: Franzis 1973

[11] Börner, H.: Loewe OE 333 – der erste „Millionär"? Mitteilungen Geschichte der Rundfunktechnik Nr. 6, (H.2–1985) S. 6-7

[12] Loewe, S.: Verbesserte Widerstandsverstärker. Der Radio-Amateur, 3 (1925) H. 36, S. 873-875

[13] Rhein, E.: Und in Amerika ... Siebengitterröhren. Funk-Bastler 6 (1929) H. 13, S. 193-195

[14] o. Verf.: Die Siebengitterröhren. Funk-Bastler 6 (1929) H. 14, S. 210